

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuotekehitys

Tutkintotyö

Lasse Niemi

MASTOLAVAN KEVYEMMÄN VETOAISAN SUUNNITTELU

Työn ohjaaja

Matti Lähteenmäki

Työn teettäjä

Ramirent Finland Oy, valvojana Matti Jokinen toimipisteen esimies

Tampere 2008

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkintotyössä suunniteltiin mastolavaan uusi vetoaisa. Uuden vetoaisan piti olla helpompi kiinnittää trukkiin ja olla kevyempi. Myös valmistuksen edullisuus ja vetoaisan pitkä käyttöikä olivat tavoitteena.

Vetoaisan suunnittelussa käytettiin apuna Inventor piirustusohjelmaa ja Lusas lujuuslaskentaohjelmaa. Piirustus-ohjelman avulla saatiin laadittua piirustukset vetoaisasta ja testattua yhteensopivuus mastolavaan. Elementtimenetelmää käyttävän lujuuslaskentaohjelman avulla optimoitiin rakenteiden muodot, vahvuudet ja materiaali.

Suunnittelun tuloksena saadun vetoaisan massa on noin 14 kg. Alkuperäisen vetoaisan massa oli 39 kg. Materiaaliksi valittiin alkuperäisen teräksen sijasta alumiini. Uuden vetoaisan kiinnitys suoraan trukkiin onnistuu helpommin vetokidan kiinnityksen mahdollistavan rakenteen avulla.

Tulokset ovat suoraan käytettävissä. Piirustusten mukainen vetoaisa soveltuu hyvin käyttötarkoitukseensa.

ABSTRACT

Subject of this final thesis was designing tow bar for mast climbing working platform. Main objectives for new tow bar were lightness and easy connectivity to fork lift. Other goals were easy to manufacture and the durability of the tow bar.

Computer aided drawing program and strength calculation programs were used when designing the tow bar. Drawing program blueprints helped to check tow bar compatible with mast climbing platform. Strength calculation program was used to optimize design, material and materials thickness.

The result was that designed tow bar mass is 14 kg and original tow bar mass was 39 kg. Material changed from steel, which was initially used, to aluminium. New tow bar is also easier to connect to forklift. Design as such is ready to use.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
2 SCANCLIMBER.....	6
3 MUOTOILU	8
4 LASKELMAT	12
5 TULOKSET	15
6 PÄÄTELMÄT	25

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on suunnitella Scanclimber mastolavoihin soveltuva vetoaisa varastointiin ja siirtoihin. Mastolavoissa on entuudestaan vetoaisa, mutta se soveltuu painonsa ja vaikean kiinnityksen vuoksi huonosti varastointi- ja huoltotehtäviin. Työn aiheen valintaan johti osaltaan omakohtainen työskentely mastolavojen parissa Ramirent Finland Oy:ssä. Mastolavojen liikuttelua vaikeutti huomattavasti alkuperäisen vetoaisan epäkäytännöllisyys toimipisteessä tapahtuvissa työtehtävissä. Suurin haitta alkuperäisessä vetoaisassa on sen vaikea kiinnittäminen trukkiin tai vastaavaan laitteeseen. Vetoaisan kiinnitys mastolavaan on melko vaikeata painon, vaikean kiinnityspaikan ja jäykän kiinnityksen vuoksi. Työmaalla mastolavoja yleensä siirretään omalla moottorilla, jolloin mastolavan ohjaus tapahtuu käsin. Uusi vetoaisa on myös hyödyllinen työmaa ympäristössä.

Tärkeimpinä tavoitteina työlle on keventää vetoaisaa huomattavasti käsittelyn helpottamiseksi ja mahdollistaa helppo kiinnitys trukkiin.

2 SCANCLIMBER

Ramirentillä käytössä olevat mastolavat ovat Scancelimber SC-1300, SC- 4000 ja SC-5000. Käsittelen työssäni etupäässä vain näitä mastolavatyyppejä. Tilattu vetoaisa on näitä malleja varten.

Mastolava muodostuu alustasta, työlavasta ja mastosta. Alustoja on kahta eri mallia pyöräalusta ja minialusta. Mastoja on yksi tai kaksi. Työlavan pituus ja muoto voivat vaihdella runsaastikin. Keskityn kuvaamaan lähinnä Ramirentillä olevia mastolava tyyppejä.



Kuva1 Mastolava pyöräalustalla

Mastolavoissa käytetään pääasiallisesti pyörialustoja, joissakin erikoistapauksissa kuitenkin käytetään minialustoja. Pyörialustassa on pyörät, tukijalat, runko ja vetoaisa. Minialustassa on vain runko ja tukijalat. Ramirentin käytössä olevissa pyörialustoissa on ajomottori, joka vaikuttaa kahteen takapyörään, ja ohjaus tapahtuu etupyöriä kääntämällä vetoaisan avulla. Pyörialustaista mastolavaa voidaan myös siirtää trukilla tai vastaalla laitteella suljetulla aluella. Tällöin ajomottori kytketään pois päältä ja vetoaisa kiinnitetään vedettävään laitteeseen ja lavaa hinataan tai työnnetään aisan avulla.

Mastot

Mastolavoissa voi olla yksi tai kaksi mastoa. Kaksimastoisessa yhdistetään kaksi mastolavaa yhdeksi yhteisen työlavan ja ohjaus järjestelmän avulla. Masto on koottu 1,25 m pitkistä osista. Harustettuna maston korkeus voi olla jopa 100 m.

Työlavat

Työlavat muodostuvat 4,2 m pitkistä perusosasta ja siihen liitettävistä jatkokappaleista jotka ovat 1,0 tai 1,6 m pitkiä. Pisimmillään työlava voi olla mallista riippuen 10,5 – 16,9 m tai kaksimastoisena 24,7 – 40,6 m. Työlavaa voidaan myös levittää sivuttaissuuntaisesti.

3 MUOTOILU

Vetoaisan muotoilun pääperusteena oli tehdä vetoaisata helppokäyttöisempi. Muotoilussa otin huomioon myös helpon valmistuksen, kestävyuden ja keveyden.

Alkuperäisen aisan suurin ongelma oli sen vaikea asentaminen pyöräalustaan ja vaikea kiinnitys trukin piikkeihin. Yleisesti mastolavan siirtelemiseen käytetään trukkia.

Kiinnityksen helpottamiseksi vetolaitteeseen aisan päässä on vetokita johon trukkiin kiinnitettävä vetokoukku saadaan kiinnitettyä.



Kuva 2 Vetoaisan kiinnityskohta

Vetoaisan lopullinen muoto määräytyi elementtimenetelmällä tehtyjen laskujen perusteella. Perusmuoto pysyi melko muuttumattomana. Seinämävahvuudet, putkien halkaisijat ja mastolavaan kiinnittyvän haarukan muoto määräytyivät laskelmien mukaan optimoimalla.

Putkirakenteen ansiosta aisasta tulee huomattavasti kevyempi kuin yhtä lujasta umpinaisesta ratkaisusta. Vetoaisassa käytetään vetokidan kiinnitysalueella pyöreää halkaisijaltaan 70 mm ja vahvuudeltaan 8mm putkea, koska tälle halkaisijalle löytyy valmiita vetokitoja usean valmistajan mallistosta. Muualla vetoaisassa käytetään 100 mm neliöputkea, jonka seinämävahvuus on 10 mm. Aisan mastolavaan kiinnittyvässä haarukassa käytetään 10 mm seinämävahvuista levyä. Aluksi aisaa testattiin pyöreällä putkella, jolla päädyttiin liian suuriin jännityksiin.

Valmistuksen helpottamiseksi putkien ainevahvuudet valittiin optimoinnin tulosta lähimpänä olevaa vakio seinämävahvuus. Työn lopussa on vetoaisan kuva. Materiaalina käytetään EN AW-6063 T6 alumiinia. Kustannussyistä vaihto ehtoina olivat alumiini ja teräs. Suurimpina syinä materiaalivalintaan olivat alumiinin keveys ja korroosio kestävyys. Alumiinista tehdyt palkkirakenteet ovat puolet kevyempiä kuin vastaavan lujuuden omaavat teräsrakenteet. Alumiinin pinnalle muodostuu ilmassa olevan hapen kanssa luja oksodikerros joka suojaa alumiinia estämällä hapettumisen jatkumisen. Taulikossa 1 on pursotettavien alumiinien ominaisuuksia./1/

Taulukko 1 Alumiinien ominaisuuksia^{2/}

Numerinen tunnus	EN AW-1050A	EN AW-6063			EN AW-6101B	EN AW-6082	
Kemiallinen tunnus	EN AW-Al99,5	EN AW-AlMg _{0,7} Si			EN AW-EAlMgSi	EN AW-AlSi11MgMn	
Toimitustila	F	T4	T5	T6	T6	T4	T6
Murtolujuus R _m (min) MPa (N/mm ²)	60	130	160	215	215	205	290
Myötölujuus R _{p0,2} (min) MPa (N/mm ²)	20	65	110	170	160	110	250
Murtovenymä A min (A _{50%} min)	25 (23)	14 (12)	7 (5)	8 (6)	10 (8)	14 (12)	8 (6)
Brinell-kovuus (HB)	18...25	40...50	55...65	75	65...75	75...65	95...115
Tiheys (kg/dm ³)	2,70	2,70			2,70	2,70	
Kimmomoduli (N/mm2)	70000	70000			70000	70000	
Lämpöpienenemis- kerroin, 20...100 °C, (10 ⁻⁶ /°C)	24	23			23	23	
Sähkönjohtavuus 20 °C IACS%	60	52			55		
Lämmönjohtavuus 20 °C W/m°C	230	210			210	190	
Ominaisuuksia ja käyttökohteita	Seostamaton ("puhdas alumiini"), alumiinipitoisuus min. 99,5 %, rajoitettu pursotettavuus (vain yksinkertaisia muotoja), huonot lujuusominaisuudet, hyvä sähkönjohtavuus Yleisin seostettu, karkeneva ja pursotettava seos, hyvät lujuusominaisuudet, hyvä pursotuspinnanlaatu, soveltuu erittäin hyvin anodisoitavaksi. Alumiinipitoisuus n. 98,5%, pääseosaineet Si 0,2...0,6 ja Mg 0,45...0,9 %. Lujuusominaisuudet samat kuin seoksella EN AW-6063, lisäksi hyvä sähkönjohtavuus, soveltuu anodisointiin. Al-pitoisuus n. 98,5 %, pääseosaineet Si 0,3...0,7 ja Mg 0,35...0,8 %. Seostettu ja hyvin karkeneva konstruktiioseos, jonka lujuusominaisuudet ovat erittäin hyvät. Vaatii suuremmat mitta- ja muototoleranssirajat kuin edelliset. Huonohko anodisoitavuus. Al-pit. n. 97,5 %. Pääseosaineina Si 0,7...1,3, Mg 0,6...1,2 ja Mn 0,4...1,0 %.						

Alkuperäinen vetoaisan massa on 39 kg. Piirustusohjelman mukainen massa uudelle vetoaisalle on noin 13,9 kg, joten massa laski melkein kolmannekseen alkuperäisestä. Massan laskuun vaikuttivat materiaalin vaihto ja muodon muuttuminen. Ohessa on kuva piirustusohjelmalla saadusta massasta.

General Summary Project Status Custom Save Physical

Material
Aluminum-6061 Update

Density 2.710 g/cm³ Requested Accuracy Very High Clipboard

General Properties

		Center of Gravity	
Mass	13.847 kg (Relative)	X	-0.022 mm (Relative)
Area	1077198.303 mm ²	Y	-0.000 mm (Relative)
Volume	5109497.781 mm ³	Z	899.017 mm (Relative)

Inertial Properties

Principal Global Center Of Gravity

Mass Moments

Ixx 2528809.993 kg mm² Calculated using negative integral.

Ixy -0.000 kg mm² Iyy 2526383.443 kg mm²

Ixz 191.706 kg mm² Iyz 0.000 kg mm² Izz 37570.422 kg mm²

OK Cancel Apply

Kuva 3 Vetoaisan massa

4 LASKELMAT

Vetoaisaan tulevat voimat aiheutuvat renkaiden kääntämisestä, lavan vetämisestä ja työntämisestä. Varastointiolosuhteista riippuen voimat vaihtelevat, omakohtaisen kokemuksen ja muilta Ramirentin työntekijöiltä saatujen tietojen perustella renkaiden kääntö onnistuu aina miesvoimin. Laskuissa on käytetty sivuttaissuuntaisia voimiin 100 kg massaa, joka on kerrottu kahdella liikkeistä johtuvien voimien vuoksi.

Pitkittäissuuntaisissa voimissa laskuihin on käytetty 1000 kg painoista truckia.

Kuormaamattoman trukin painonjakauma on takapainoinen. Käytettävät trukit ovat etuvetoisia, joten laskuissa on käytetty 50 % painoa eturenkaille. Liikkeistä johtuvien voimien vuoksi sekin on kerrottu kahdella. Laskuissa käytetyt voimat eivät ole käytännön olosuhteissa mahdollisia, joten suurempia varmuuskertoimia ei tarvitse käyttää.

Käsinlaskuissa ei ole laskettu jännityksiä. Tarkat käsin laskut olisivat olleet vetoaisan muodosta johtuen erittäin laajat.

Käsin laskut:

Sivuttaissuuntaiset voimat

Ihmisen massa 100 kg

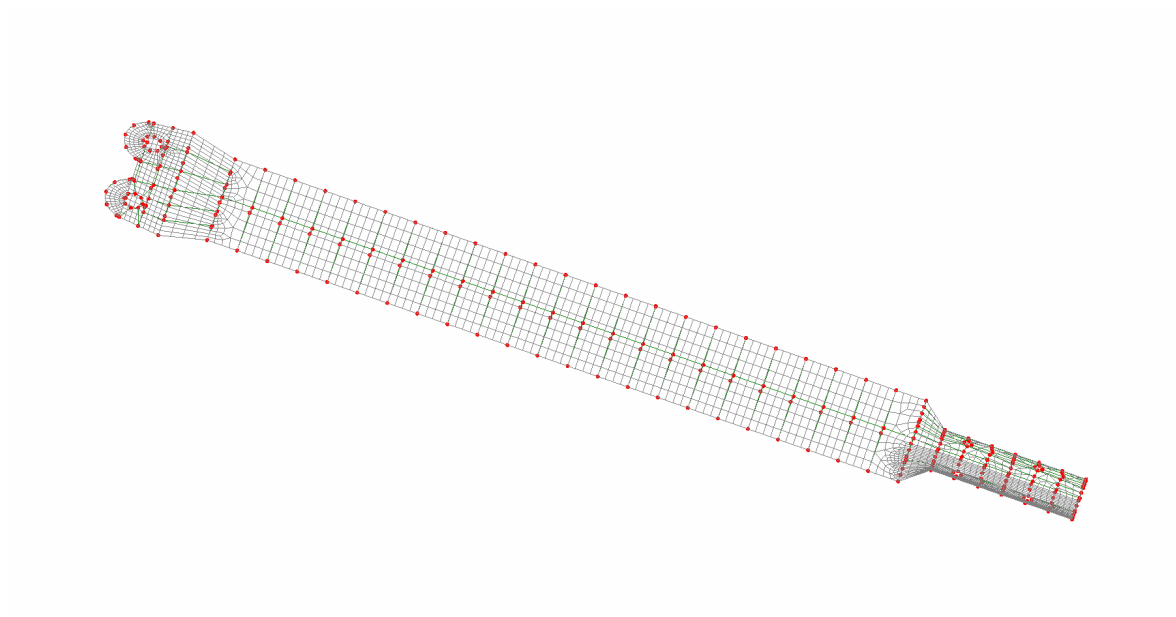
Putoamiskiihtyvyys 9.81 m/s^2

Liikkeistä johtuva kerroin 2

Sivuttaissuuntainen voima $2 \cdot 100 \cdot 9,81 = 19,62 \text{ kN}$

Elementtimentelmällä tehdyt laskut

Elementtimenetelmässä käytettiin LUSAS lujuuslaskentaohjelmaa. Aluksi mallinnettiin vetoaisan ääriviivat. Mallinnuksen jälkeen valittiin kuorirakennteeksi ohutlevy ja valittiin materiaaliksi alumiini ja lisättiin elementtiverkko.

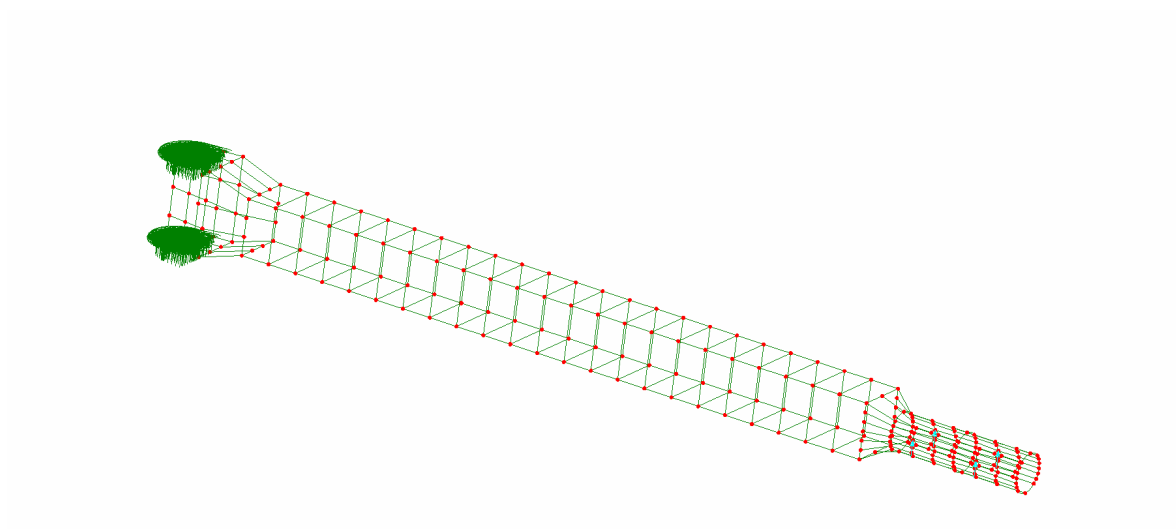


Kuva 4 Elementtiverkko

Elementtiverkon lisäämisen jälkeen vetoaisaan lisättiin kiinnitykset. Kiinnitykset tulivat mastolavan päähän koska laskentaperusteina käytettiin vetoaisaan trukista tai ihmisistä tulevia voimia. Sivusuuntaista mitään liikettä ei pääse syntymään, kun vetoaisa on kiinnitetty sokalla mastolavaan. Korkeussuunnassa ainoa mahdollinen liike on rotaatio koska vetoaisan pitää pystyä liikkumaan vetopäässä korkeussuunnassa. Pitkittäis suuntaiset liikkeet ovat mahdollisia. Mallinuksessa kuitenkin käytettiin lukittuja pitkittäiskiinnityksiä jotta se vastaisi suurinta mahdollista kuormitusta.

Seuraavana vaiheena oli vetoaisaan kohdistuvien voimien lisääminen. Pitkittässuuntaisen voiman maksimina käytettiin 8,9 kN ja sivuttaissuuntaisen voiman maksimina 2 kN.

Voimien vaikutuspisteiksi valittiin vetokidan kiinnityspisteet, koska vetoaisaan tulevat voimat tulevat vetokitaan vaikuttavista voimista.



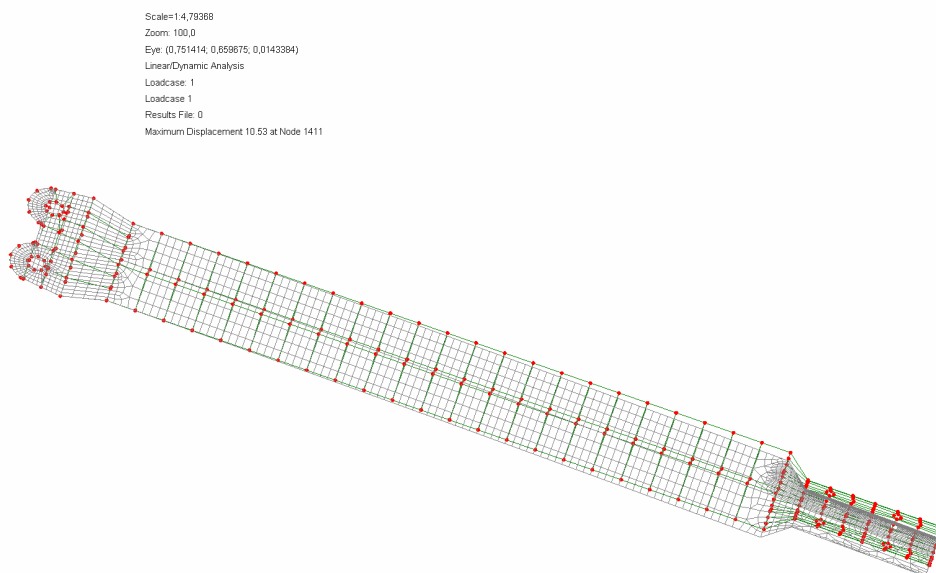
Kuva 5 Kiinnitykset

Viimeisenä vaiheena optimoitiin rakenteen vahvuuksia ja putkien halkaisijoita. Vetoaisan pyöreän osan, johon vetokita kiinnittyy maksimi halkaisijaa rajoitti vetokitojen tarjonta. Vetokitoja löytyy useimmilta valmistajilta 70 mm halkaisijaan asti. Laskentaa suoritettaessa havaittiin 70 mm halkaisija ja 8 mm sinämävahvuus optimaalisiksi. Vetoaisan keskiosaa testattin ensin pyörällä putkella. Laskennan tulokset osittivat jännitysten nousseen pyöreän putken ja mastolavaan kiinnittyvän osan välillä huomattavan suuriksi. Suurien jännitysten vuoksi pyöreä putki vaihdettiin neliöputkeksi ja jännitykset laskivat huomattavasti. Pyörällä rakenteella jännityshuippu oli 316,679 MPa ja lopullisessa rakenteessa se on 97,5542 MPa.

5 TULOKSET

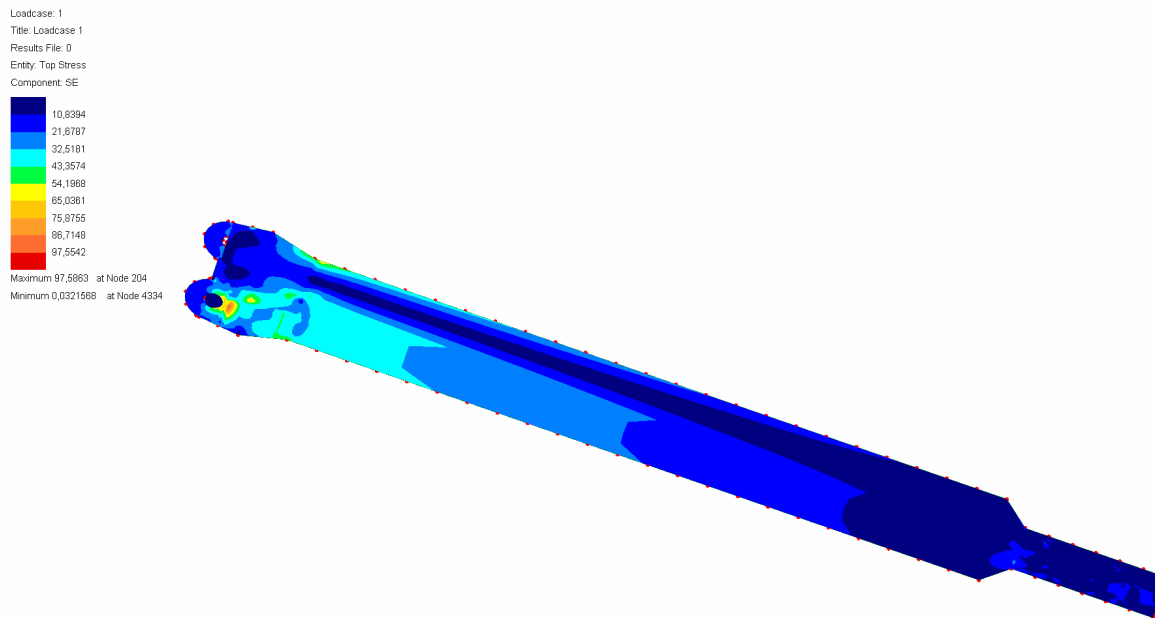
Elementtimentelmällä saatujen laskujen tulokset ilmenevät alla olevista kuvista. Sivuttais- ja pitkittäissuuntaisista kuormituksista on esitetty kuorirakenteen ylä-, ala- ja keskipinnoille muodostuvat jännitykset. Kuvista ilmenevät myös jännityshuippujen alueiden suurennot. Lähtöarvoista johtuen jännitysten yksikkö MPa ja taipumien mm. Materiaalina käytetyn alumiinin myötölujuus on 170 MPa ja murtovenymä 6% , joka vastaa kyseisessä kappaleessa pituudenmuutosta 96 mm. Tulokset jäävät alle sallittujen rajojen.

Sivusuuntaisella kuormituksella maksimitaipumaksi tuli 10,53 mm.

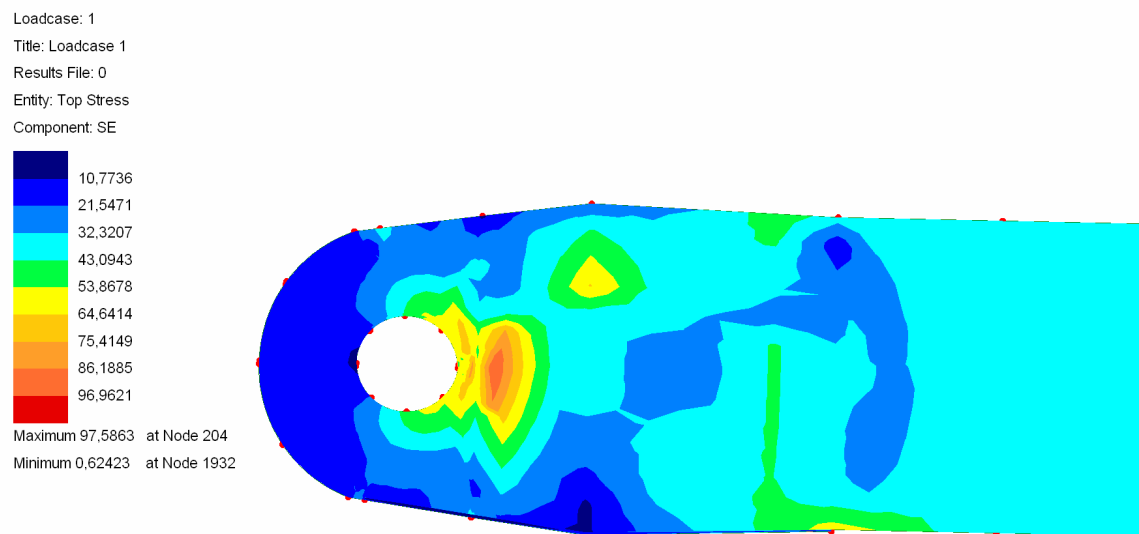


Kuva 6 Taipuma

Kuorirakenteen yläpinnan vertilujännityksen maksimiksi sivuttaissuuntaisella kuormituksella saatiin 97,5542 MPa

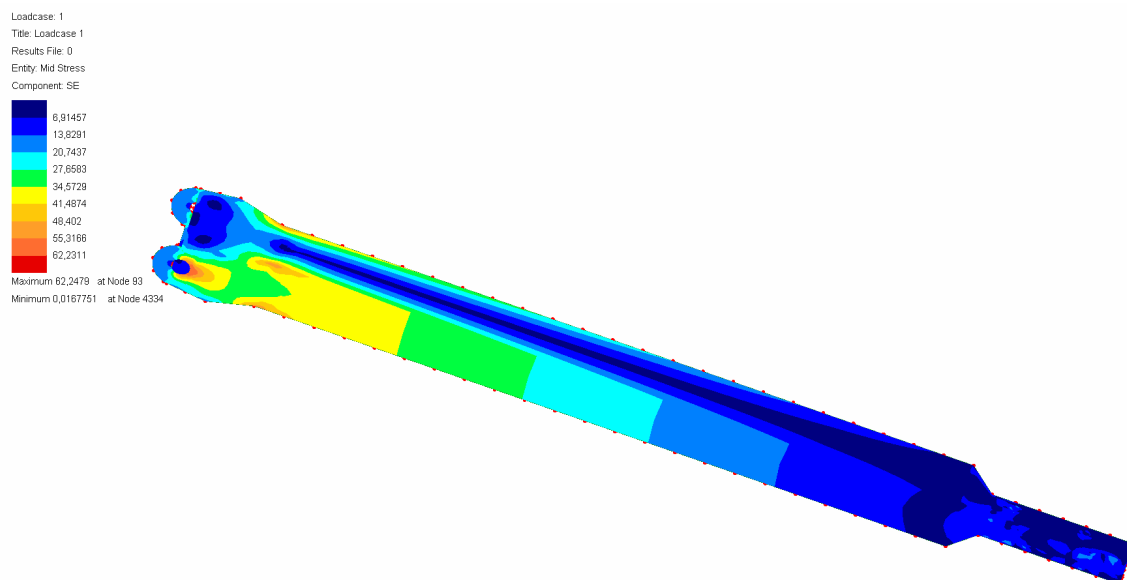


Kuva 7 Yläpinnan jännitykset

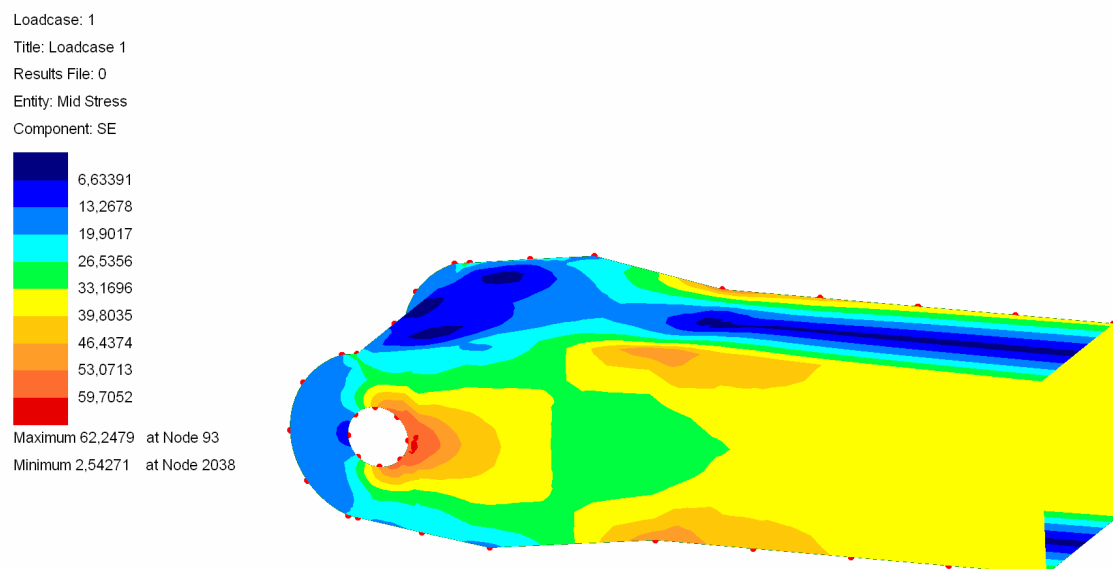


Kuva 8 Yläpinnan jännityshuipun suurennos

Kuorirakenteen keskipinnan vertailujännityksen maksimiksi sivuttaissuuntaisella kuormituksella saatiin 62,2479 MPa

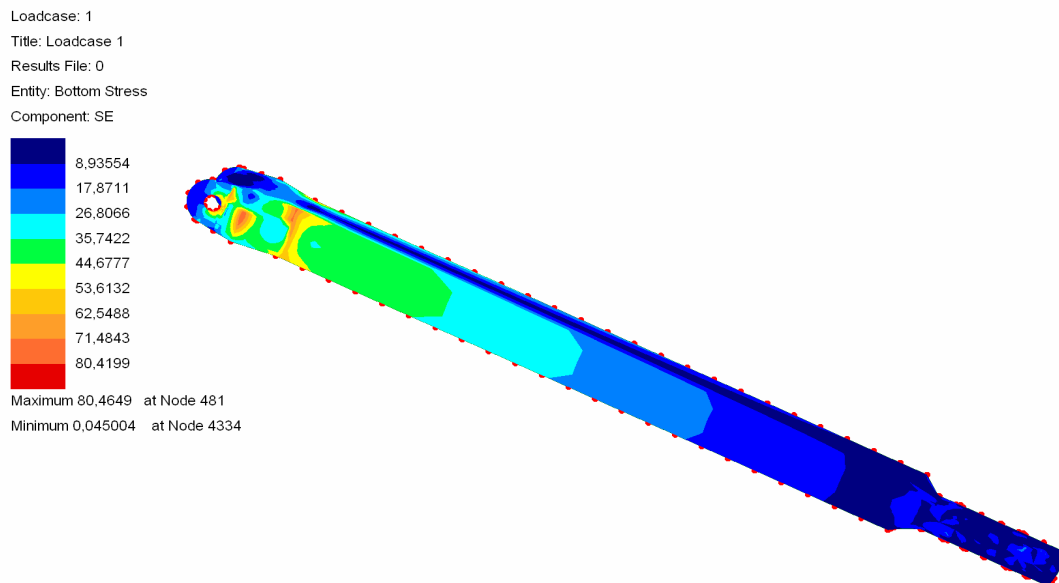


Kuva 9 Keskipinnan jännitykset

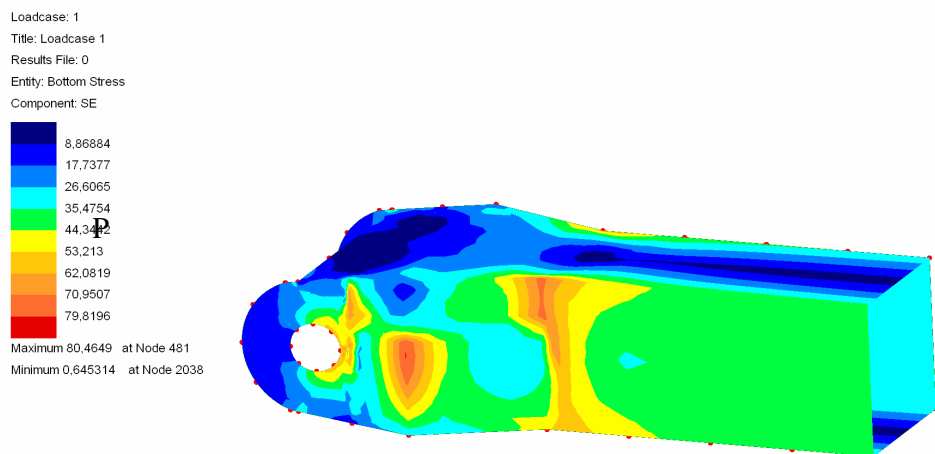


Kuva 10 Keskipinnan jännityshuipun suurennos

Kuorirakenteen alapinnan vertailujännityksen maksimiksi sivuttaissuuntaisella kuormituksella saatiin 80,4669 MPa



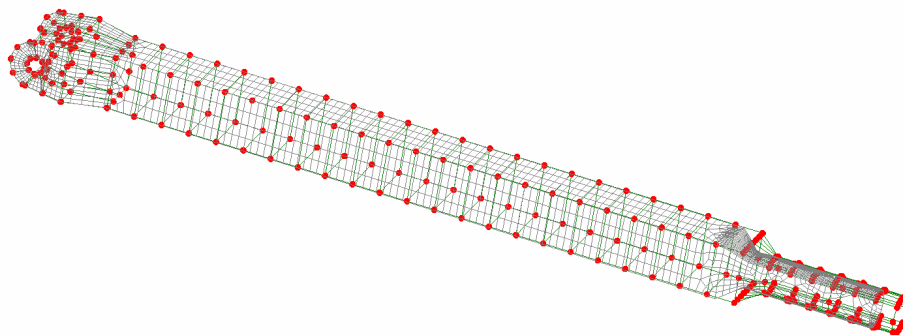
Kuva 11 Alapinnan jännitykset



Kuva 12 Alapinnan jännityshuipun suurennos

Pitkittäissuuntaisella kuormituksella maksimitaipumaksi tuli 0,06543 mm

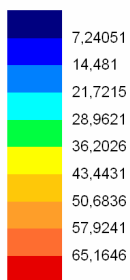
Scale=1:8,1635
 Zoom: 100,0
 Eye: (0,869206; 0,425891; -0,251193)
 Linear/Dynamic Analysis
 Loadcase: 1
 Loadcase 1
 Results File: 0
 Maximum Displacement 0,6543E-01 at Node 4298



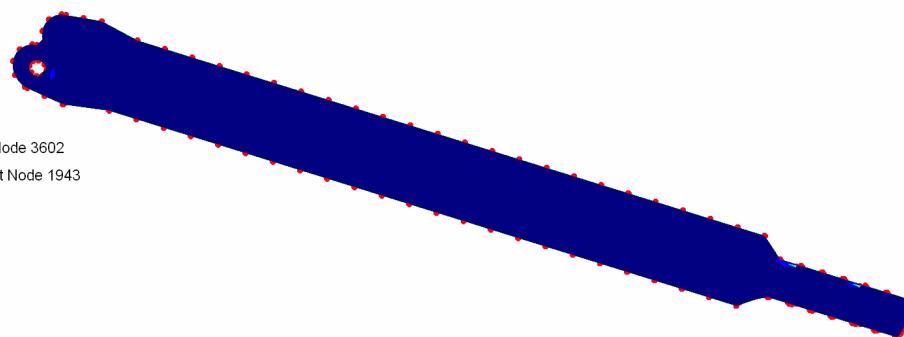
Kuva 13 Taipuma

Kuorirakenteen yläpinnan vertailujännityksen maksimiksi pitkittäissuuntaisella kuormituksella saatiin 97,5542 MPa

Loadcase: 1
 Title: Loadcase 1
 Results File: 0
 Entity: Top Stress
 Component: SE



Maximum 65,2315 at Node 3602
 Minimum 0,0668238 at Node 1943

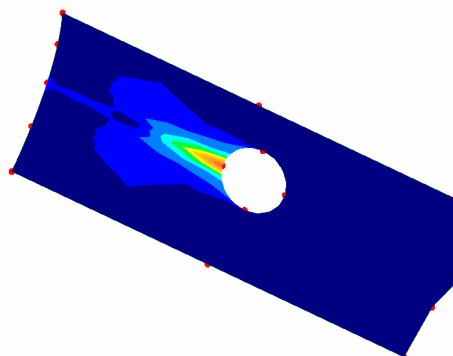


Kuva 14 Yläpinnan jännitykset

Loadcase: 1
 Title: Loadcase 1
 Results File: 0
 Entity: Top Stress
 Component: SE

7,18167
14,3633
21,545
28,7267
35,9083
43,09
50,2717
57,4533
64,635

Maximum 65,2315 at Node 3602
 Minimum 0,596445 at Node 1071



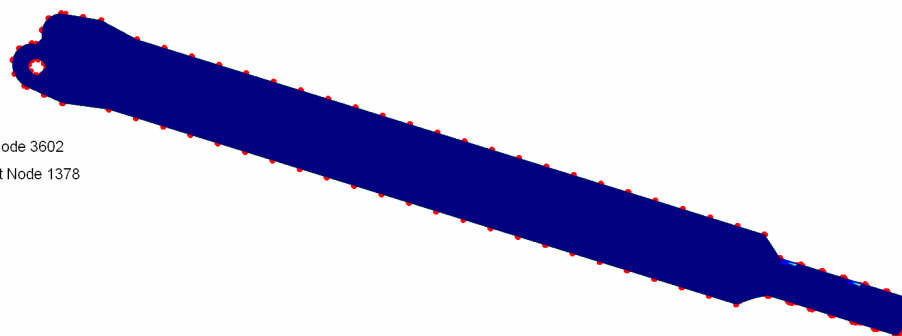
Kuva 15 Yläpinnan jännityshuipun suurennos

Kuorirakenteen keskipinnan vertailujännityksen maksimiksi pitkittäissuuntaisella kuormituksella saatiin 65,0567 MPa

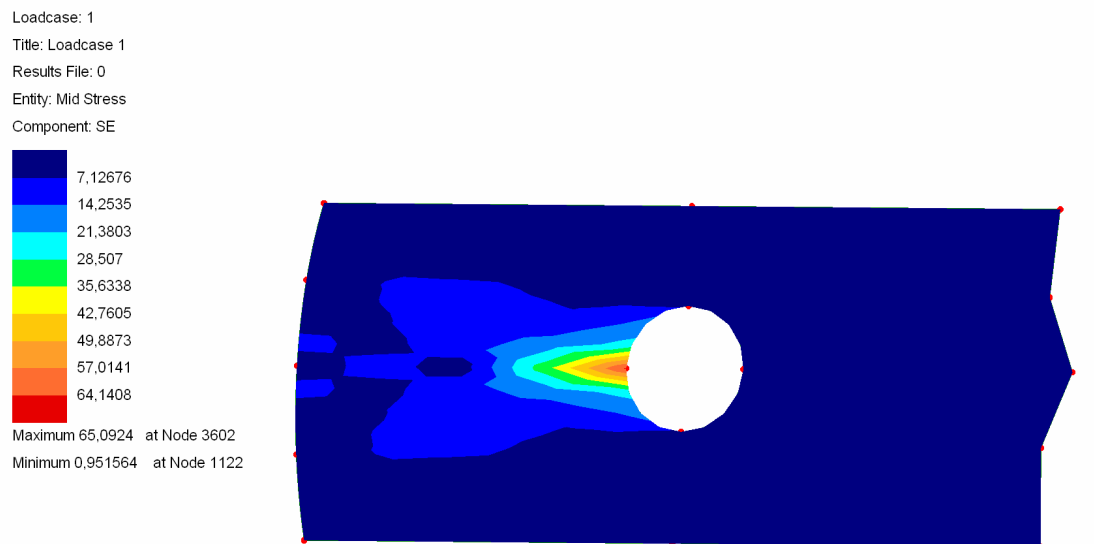
Loadcase: 1
 Title: Loadcase 1
 Results File: 0
 Entity: Mid Stress
 Component: SE

7,22852
14,457
21,6856
28,9141
36,1426
43,3711
50,5997
57,8282
65,0567

Maximum 65,0924 at Node 3602
 Minimum 0,0356675 at Node 1378

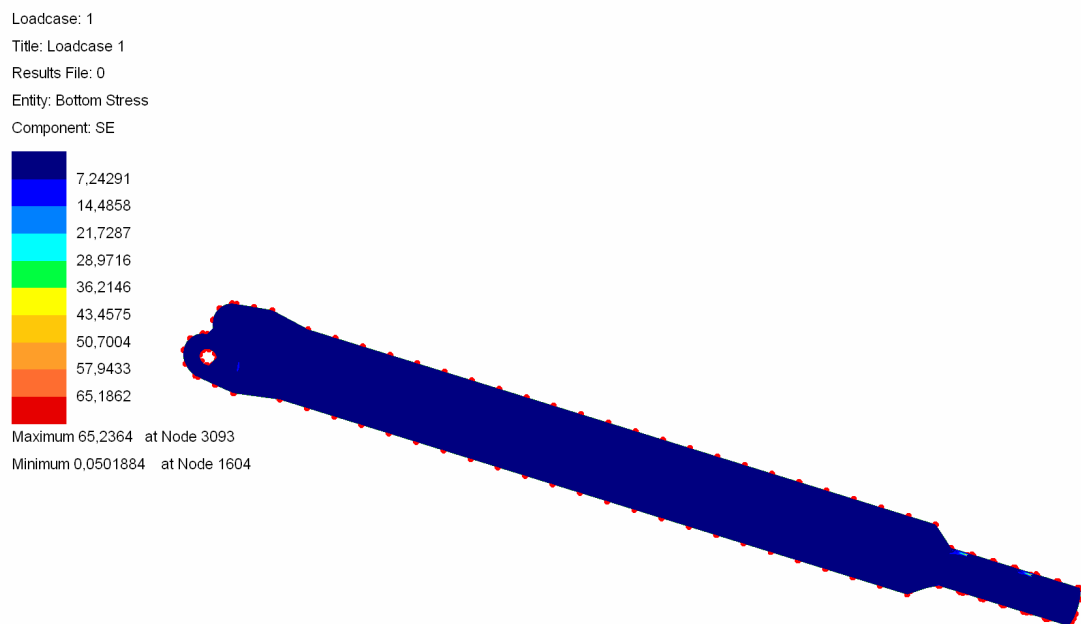


Kuva 16 Keskipinnan jännitykset

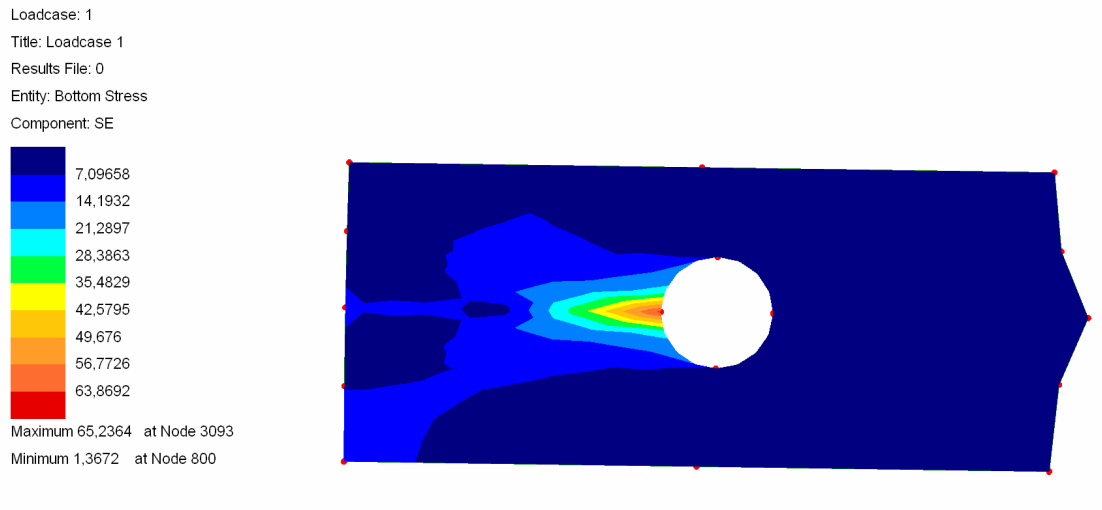


Kuva 17 Keskipinnan jännityshuipun suurennus.

Kuorirakenteen alapinnan vertailujännityksen maksimiksi pitkittäissuuntaisella kuormituksella saatiin 65,2364 MPa

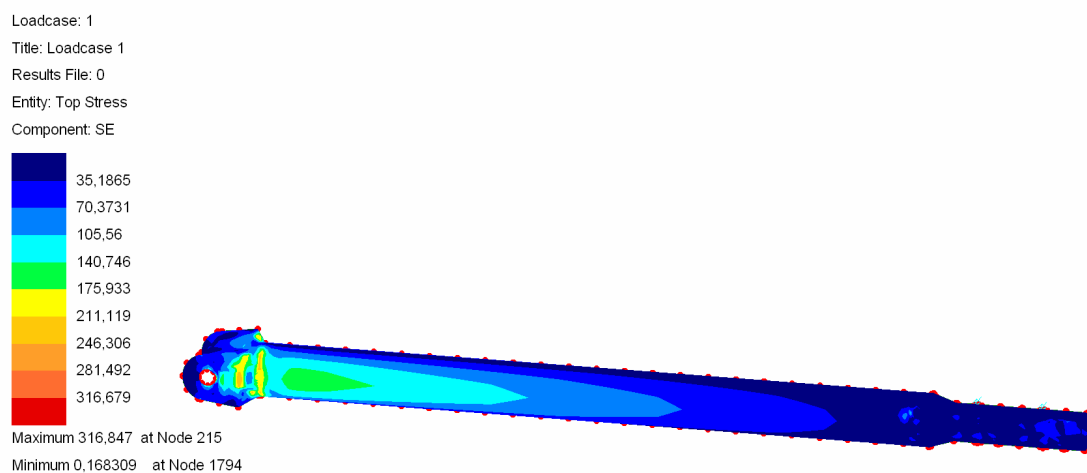


Kuva 18 Alapinnan jännitykset



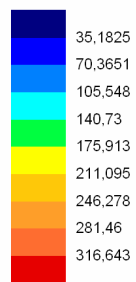
Kuva 19 Alapinnan jännityshuipun suurennos

Pyöreäputkisen aisan kuorirakenteen yläpinnan vertailujännityksen maksimiksi sivuttaissuuntaisella kuormituksella saatiin 316,847 MPa.

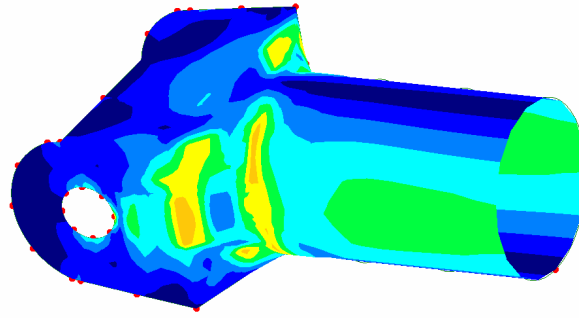


Kuva 20 Pyöreäputkisen aisan yläpinnan jännitykset.

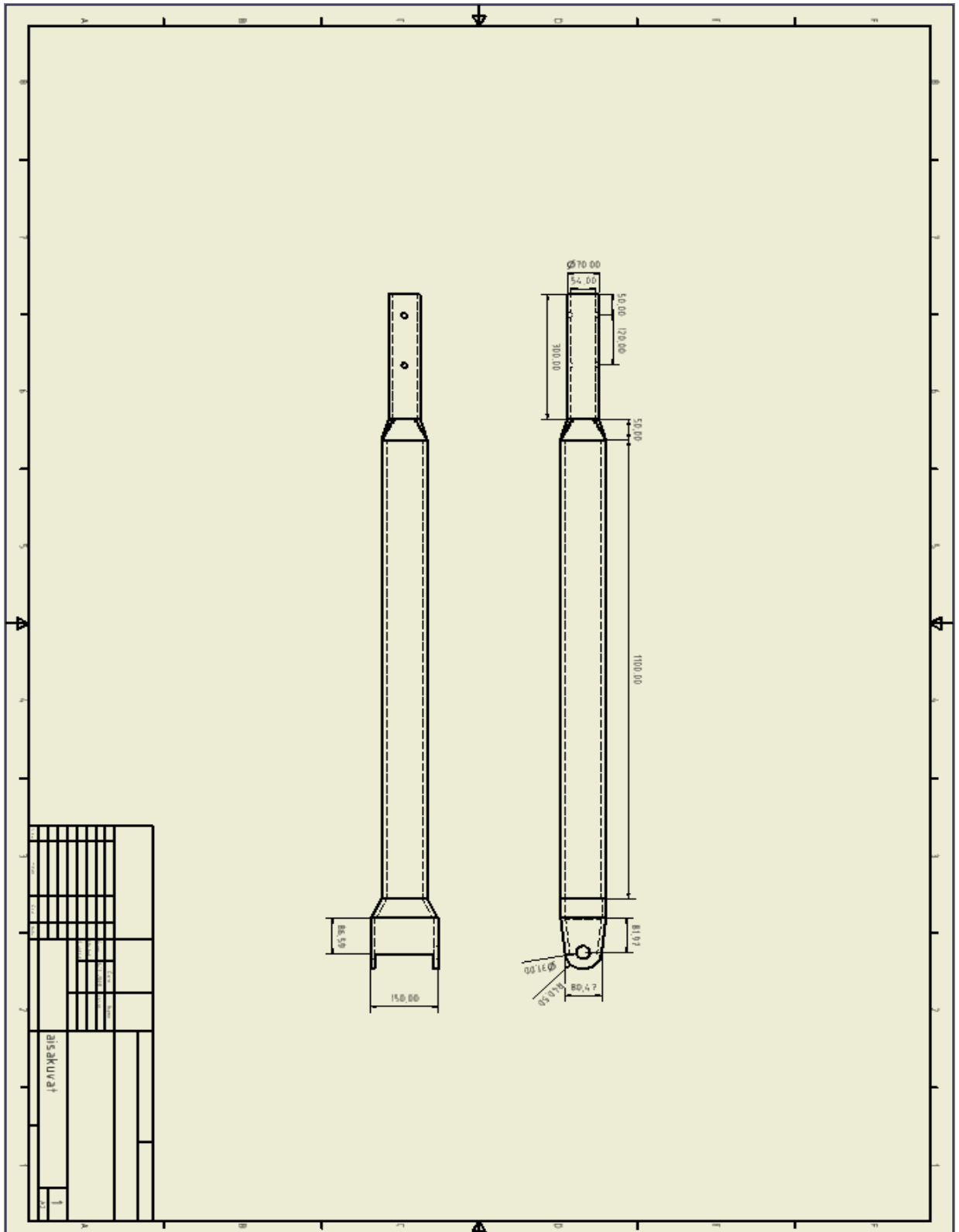
Loadcase: 1
Title: Loadcase 1
Results File: 0
Entity: Top Stress
Component: SE



Maximum 316,847 at Node 215
Minimum 0,204303 at Node 4493



Kuva 21 Pyöreäputkisen aisan jännityshuipun suurennos



Kuva 22 Aisan mitat

6 PÄÄTELMÄT

Työ saavutti taivoitteensa tärkeimpien asioiden kohdalta. Vetokidan asennuksen mahdollistava muotoilu helpottaa huomattavasti vetoaisan kiinnittämistä trukkiin. Materiaalin vaihdon ja muotoilun optimoinnin johdosta uuden aisan paino pieneni melkein kolmannekseen alkuperäisestä.

Lähteet

/1/ <http://www.purso.fi/fi/yritys/alumiini-info.html> 28.8.2008

/2/ Purso sähköposti 18.9.2007.